

Entwicklung eines neuartigen optomechanischen Bildderotators

S. Mirzaei*, N. Kasyanenko*, G. Beichert**, E. Reithmeier*

*Institut für Mess- und Regelungstechnik, Leibniz Universität Hannover

**Holo-Support, Turmstr. 17 - 30982 Pattensen

<mailto:sahar.mirzaei@imr.uni-hannover.de>

Das Institut für Mess- und Regelungstechnik (IMR) verfügt über einen im Hause entwickelten optomechanischen Bildderotator, womit rotierende Objekte stehend – in Echtzeit – betrachtet werden können. Das Kernstück des Bildderotators ist ein Bild Drehprisma nach Dove. Das Dove-Prisma verursacht jedoch Aberrationen und Lichtpolarisationseffekte im optischen Messsystem. Um die optischen Eigenschaften zu verbessern und die Einsatzmöglichkeiten des Bildderotators zu erweitern, wird derzeit im IMR ein Derotator-Konzept mit einer veränderten Optik entwickelt und gebaut.

1 Motivation

Viele optische Messverfahren wie die Laser-Doppler-Vibrometrie (LDV) oder die Kameramess-technik können nur bedingt auf rotierende Objekte angewendet werden. Sie versagen, wenn eine kritische Drehzahl überschritten wird. Der Bildderotator schafft hierbei Abhilfe: Er transformiert das Laborkoordinatensystem des Messgerätes in das mitrotierende Koordinatensystem des Objektes. Dieser optische Effekt lässt Messungen zu, die bislang nicht ohne Weiteres möglich waren. Als Beispiel können die folgenden Anwendungen genannt werden, wo Messungen an rotierenden Objekten von Interesse sind:

- Schwingungsmessung an schnell rotierenden Bauteilen [1].
- Deformationsmessung und Stabilitätsanalyse von rotierenden Werkzeugen im Einsatz.
- Untersuchung der Bruchmechanik an rotierenden scheibenförmigen Objekten (z.B. Bersten von Schleifscheiben).
- Thermografische Untersuchung von Verschleißvorgängen (z.B. Reibung in Wälzlagern).
- Strömungsmessung in Radialverdichtern.
- Untersuchung von Schwingungen am Reifen.

2 Prinzip des vorhandenen Bildderotators

Das Kernstück des Bildderotators ist ein Bild Drehprisma nach Dove [2]. Wird ein rotierendes Objekt durch ein Bild Drehprisma (hier Dove-Prisma) hindurch beobachtet, das mit der halben Winkelgeschwindigkeit in gleicher Drehrichtung rotiert, so erscheint das Objekt ruhend. Voraussetzung dafür ist, dass die optische Achse des Prismas, die Drehachse seines Antriebes sowie die Objektdrehachse identisch sind. Abbildung 1 zeigt den

optischen Strahlengang bei zwei verschiedenen Drehwinkelstellungen des Prismas.

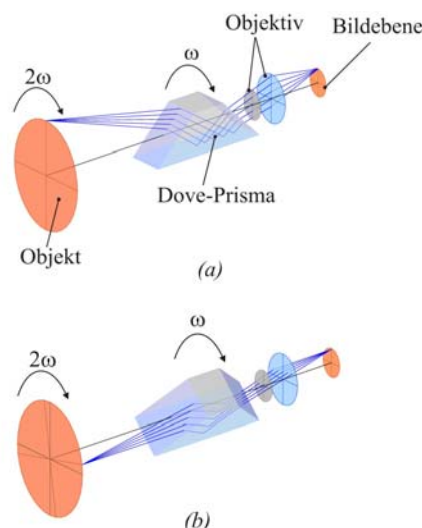


Abb. 1 Strahlengang durch das Dove-Prisma bei zwei verschiedenen Drehwinkelstellungen (a) Objektdrehwinkel $2\omega = 0^\circ$ (b) Objektdrehwinkel $2\omega = 80^\circ$.

Als eigenständiges Gerät verfügt der Bildderotator über eine kardanische Verstelleinheit, mit der die Drehachse des Bildderotators individuell auf die Drehachse eines Objektes ausgerichtet werden kann. Die Drehzahlsynchronisierung des Derotatorantriebs zum Objekt im Verhältnis 1:2 erfolgt auf elektronischem Wege (elektronisches Master-Slave-Getriebe auf Basis von Winkelschrittteilern). Die maximale Drehzahl des Objekts mit diesem Aufbau beträgt $n_{\max} = 10.000$ U/min.

3 Verbesserungspotenzial

Das Dove-Prisma erzeugt in einem messtechnischen Aufbau zusätzliche Aberrationen, wie Astigmatismus und Bildverzeichnung. Die Aberra-

tionen nehmen mit dem Öffnungswinkel sehr stark zu; sie liegen im Prozentbereich. Die Bildverzerrung des Dove-Prismas ist qualitativ in Abbildung 2 zu sehen. Die Aberrationen hängen von der Drehwinkellage des Prismas ab. Dies hat zur Folge, dass auch bei einer derotierten Abbildung des Objektes die Aberrationen weiterhin im Bild rotieren und störende periodische Bewegungen verbleiben.

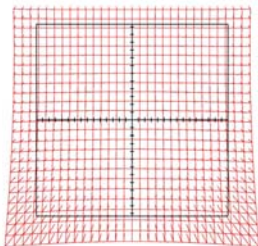


Abb. 2 Typische kissenförmige Bildverzerrung des Dove-Prismas

Ein weiterer Nachteil des verwendeten Dove-Prismas ist die Undurchlässigkeit im Infrarotbereich. Dadurch sind thermografische Untersuchungen nicht möglich. Darüber hinaus wird polarisiertes Licht beim Durchtritt durch das Dove-Prisma in Abhängigkeit von seiner Drehwinkellage intensitätsmoduliert. Für die Laser-Doppler-Vibrometrie stellt dies einen gravierenden Störfaktor dar (Abb. 3).

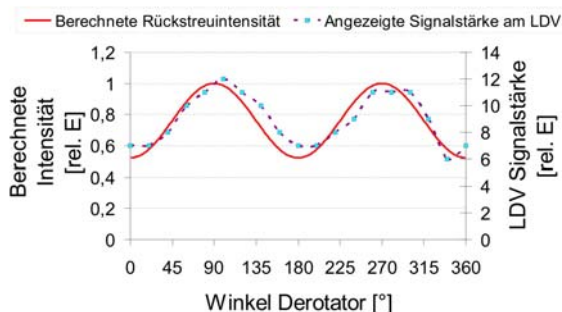


Abb. 3 Wirkung des Dove-Prismas auf den polarisierten LDV-Messstrahl

Um diese Problematiken zu beseitigen und die neuen Aufgabenstellungen zu erfüllen wurde am IMR ein neues Konzept für einen Derotator entwickelt. Über die Problematiken des Dove-Prismas hinaus bestehen bei dem aktuellen Derotator Verbesserungspotenzielle bzgl. einer höheren Drehzahl und Dynamik. Hierdurch erschließen sich neue Anwendungsbereiche in der Beurteilung von hochdynamischen rotierenden Bauteilen.

4 Neues Konzept

In dem neuen Konzept für einen Derotator wird anstelle des Dove-Prismas aus Glas eine Anordnung aus einem Einzelspiegel und einem prismati-

schen Spiegelkörper mit zwei Spiegelflächen gewählt („Spiegel-Dove“), so dass der optische Glasweg entfällt (Abb. 4). Die Spiegeloptik ist im Vergleich zum Dove-Prisma frei von Aberrationen, tauglich für die Thermografie und es tritt keine Lichtpolarisation auf. Aus Sicherheitsgründen wird das Spiegel-Prisma aus Metall (Voll-Aluminium) gefräst. Die gefrästen Spiegelflächen weisen eine Ebenheitsabweichung $< 0,5 \mu\text{m}$ auf. Ihre Oberflächenrauheit beträgt $R_a < 6 \text{ nm}$ (Abb. 5).

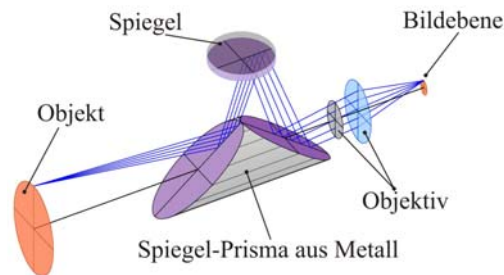


Abb. 4 Prismatische Spiegelkörper-Anordnung



Abb. 5 Spiegel-Prisma aus Metal

Der neue Direktantrieb des Bildderotators ist für Objektdrehzahlen bis $n_{\text{max}} = 24.000 \text{ U/min}$ ausgelegt. Abbildung 6 zeigt die Konstruktion des neuen Bildderotators, der sich gerade in der Bauphase befindet und kurz vor der Erprobung steht.

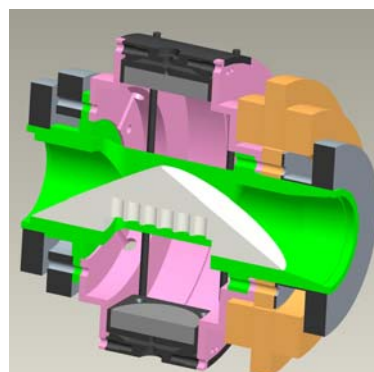


Abb. 6 Bildderotator mit prismatischer Spiegel-Anordnung

Literatur

- [1] M.-A. Beck: „Zur Holographisch-interferometrischen Schwingungsanalyse an schnellrotierenden Bauteilen“, Dissertation, Hannover (1984).
- [2] E. Hecht, A. Zajac: „Optics“, Addison-Wesley, (1974)